

KAJIAN KINETIKA KIMIA MODEL MATEMATIK REDUKSI KADMIUM MELALUI LAJU REAKSI, KONSTANTE DAN ORDE REAKSI DALAM PROSES ELEKTROKIMIA

Prayitno

Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta
Jl. Babarsari Kotak Pos 6061, Yogyakarta.

ABSTRAK

KAJIAN KINETIKA KIMIA MODEL MATEMATIK REDUKSI KADMIUM MELALUI LAJU REAKSI, KONSTANTE DAN ORDE REAKSI DALAM PROSES ELEKTROKIMIA. Telah dilakukan kajian reduksi kadmium dengan elektrokimia dipengaruhi oleh waktu proses, konsentrasi, kuat arus dan jenis plat elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model matematik reduksi kadmium melalui kecepatan reaksi, konstante laju reaksi dan orde reaksi dipengaruhi oleh waktu proses, konsentrasi, kuat arus dan jenis plat elektroda. Hasil kajian menunjukkan bahwa waktu proses dengan menggunakan plat elektroda tembaga adalah selama 30 menit dan plat elektroda aluminium selama 20 menit. Kuat arus yang digunakan dalam proses elektrokimia ini hanya 0,8 amper dan konsentrasi yang digunakan sebesar 5,23 mg/l, jenis plat elektroda Al yang paling baik digunakan untuk reduksi kadmium dalam limbah dan efisiensi reduksi yaitu 98 %.

ABSTRACT

EVALUATION OF CHEMICAL KINETIC FOR MATHEMATICS MODEL REDUCTION OF CADMIUM REACTION RATE, CONSTANTE AND REACTION ORDE IN TO ELECTROCHEMICAL PROCESS. The experiment was reduction of cadmium rate with electrochemical influenced by time process, concentration, current strenght and type of electrode plate. The aim of the experiment was to know the influence, mathematic model reduction of cadmium the reaction rate, reaction rate constante and reaction orde influenced by time process, concentration, current strenght and type of electrode plate. Result of research indicate the time processing if using plate of copper electrode is during 30 minutes and using plate of aluminium electrode is during 20 minutes. Condition of strong current that used in process of electrochemical is only 0,8 ampere and concentration effective is 5.23 mg/l. The most effective type Al of electrode plate for reduction from waste and the efficiency of reduction is 98 %.

PENDAHULUAN

Reaksi elektrokimia dapat dibagi dalam dua bagian yang menghasilkan arus listrik (proses yang terjadi dalam baterai) dan yang dihasilkan oleh arus listrik elektrolisis. Bagian pertama reaksi bersifat serta merta dan energi bebas sistem kimianya berkurang, sistem itu dapat melakukan kerja. Bagian kedua harus dipaksa agar terjadi (oleh kerja yang dilakukan terhadap sistem kimia) dan energi bebas sistem kimia bertambah⁽¹⁾.

Semua reaksi elektrolisis tergolong ke dalam reaksi elektronik melibatkan perpindahan elektron, ada beberapa aspek dari jenis reaksi tersebut antara lain :

1. Oksidasi reduksi, oksidasi adalah suatu proses senyawa kimia melepaskan elektron. Reduksi merupakan kebalikan dari proses oksidasi, suatu proses suatu senyawa kimia menerima elektron. Reaksi oksidasi selalu disertai dengan reaksi reduksi, demikian pula sebaliknya.
2. Konsep bilangan oksidasi sama dengan tingkat oksidasi untuk menghitung jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi reduksi.
3. Sel elektrokimia untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Alat sel elektrokimia digunakan untuk melangsungkan perubahan di atas. Dalam sebuah sel elektrokimia, energi listrik dihasilkan dengan jalan melepaskan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Elektroda yang melepaskan elektron dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron yaitu katoda.
4. Besar termodinamika pada sel elektrokimia, hanya dapat diukur bila sel bersifat reversibel. Sebuah sel akan bersifat reversibel bila sel dikenai perbedaan potensial dari luar supaya tidak lagi terjadi reaksi kimia dalam sel.^(1,2,3,4).

Kinetika reaksi mempelajari laju reaksi kimia secara kuantitatif dan mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi tersebut. Laju reaksi kimia adalah jumlah mol reaktan per satuan volume yang bereaksi dalam satuan waktu tertentu. Bila dibuat sebuah kurva penurunan konsentrasi reaktan sebagai fungsi waktu, maka akan diperoleh kurva bahwa *slope* kurvanya pada setiap titik selalu negatif, karena konsentrasi reaktan selalu menurun. Jadi laju reaksi pada setiap titik sepanjang kurva = $-dC/dt$. Tetapi apabila laju reaksi dituliskan sebagai laju pembentukan produk, maka laju reaksi akan bernilai positif. Jika konsentrasi produk setelah reaksi berlangsung t detik adalah x mol dm^{-3} , maka laju reaksinya $+dx/dt$. Pengukuran kinetika reaksi pertama kali dilakukan oleh Wichelny menyimpulkan bahwa laju reaksi pada setiap waktu sebanding dengan konsentrasi (C) yang tersisa pada setiap waktu, secara matematik dapat dituliskan $-dC/dt = k.C$, dan $dC/dt =$ sering kali disebut sebagai *differential rate expression* dan k = konstante laju reaksi

Orde dan molekularitas merupakan dua pengertian yang berbeda. Bentuk persamaan laju reaksi yang lebih umum adalah : Laju = $k[A]^x[B]^y[C]^z...$ dan seterusnya dan orde reaksi keseluruhan merupakan jumlah semua pangkat yang terdapat dalam persamaan laju reaksi, orde reaksi total : $x + y + z +$ dan seterusnya.

Hukum laju reaksi : laju reaksi dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi zat pereaksi atau produk reaksi setiap satuan waktu ^(2,3,5,6,7).

$$\text{Laju reaksi} = \frac{\text{perubahan konsentrasi}}{\text{waktu yang diperlukan untuk perubahan}} \text{ atau } \text{Laju} = \pm \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (1)$$

Tanda negatif digunakan jika X adalah pereaksi dan tanda positif digunakan jika X adalah produk reaksi. Laju keseluruhan dari suatu reaksi kimia pada umumnya bertambah jika konsentrasi salah satu pereaksi dinaikkan. Hubungan laju reaksi dan konsentrasi dapat diperoleh dari data eksperimen. Untuk reaksi, $A + B \rightarrow \text{produk}$ dapat diperoleh bahwa laju reaksi dapat berbanding lurus dengan $[A]^x$ dan $[B]^y$.

$$\text{Atau ditulis dengan : laju} = k[A]^x[B]^y \quad (2)$$

disebut hukum laju reaksi atau persamaan laju reaksi, dengan k adalah tetapan laju reaksi, x dan y merupakan bilangan bulat yang menyatakan orde ke x terhadap A dan orde ke y terhadap B , sedangkan $(x + y)$ adalah orde reaksi keseluruhan.

Hukum laju diperoleh secara eksperimen dan tidak bergantung pada persamaan stoikiometri ^(2,3,5). Orde reaksi adalah jumlah pangkat konsentrasi dalam bentuk diferensial. Secara teoritis orde reaksi merupakan bilangan bulat kecil, namun dalam beberapa hal pecahan atau nol. Pada umumnya orde reaksi terhadap suatu zat tertentu tidak sama dengan koefisien dalam persamaan stoikiometri reaksi.

Reaksi Orde Nol

Suatu reaksi disebut orde ke nol terhadap suatu pereaksi jika laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi pereaksi tersebut. Jika $[A]$ adalah konsentrasi dan $[A]_0$ adalah konsentrasi pada saat $t = 0$, maka

$$-\frac{d[A]}{dt} = k \text{ dan Hasil integral } [A]_0 - [A] = k.t \quad (3)$$

Reaksi Orde Satu

Suatu reaksi orde satu dapat dinyatakan dengan,

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

Hasil integral untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu :

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]} = k.t \quad (4)$$

Reaksi Orde Dua

Suatu reaksi orde dua dapat dinyatakan dengan,

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$$

Hasil integral untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu :

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = k.t \quad (5)$$

Reaksi Orde Tiga

Suatu reaksi orde dua dapat dinyatakan dengan,

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^3$$

Hasil integral untuk memperoleh hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu :

$$\left(\frac{1}{[A]}\right)^2 - \left(\frac{1}{[A]_0}\right)^2 = k.t \quad (6)$$

CARA KERJA

Pemeriksaan konsentrasi limbah awal dengan alat AAS dan pengukuran pH, setelah itu memasukkan larutan limbah ke dalam gelas beker 2000 ml, kemudian dipompakan dengan laju alir 40 ml/det ke bak elektrokimia. Setelah bak elektrokimia penuh, sumber arus dinyalakan. Untuk arus pada elektrokimia dinyalakan pada 12 V dan 2,5 A, untuk arus pada elektroda digunakan arus sebagai variabel yang diambil. Pengukuran pH akhir, menganalisa hasil keluaran output dengan AAS. Percobaan di atas diulang kembali, dilakukan secara duplo.

Tahap-tahap yang dilakukan yaitu :

1. Mencari Waktu Kontak Optimum.

Larutan limbah yang keluar dari saluran output diambil setiap sepuluh menit (10 menit) selama satu jam (1 jam). Disini variabel lain yang dipakai tetap yaitu kuat arus pada 0,6 A konsentrasi 5 mg/l. Enam buah sampel yang diperoleh dianalisa dan dihitung efisiensi penurunan kadar kadmium, sampel yang menghasilkan efisiensi yang paling tinggi merupakan waktu kontak yang optimum. Hal yang sama dilakukan untuk masing-masing jenis plat. Untuk proses selanjutnya waktu kontak ini yang digunakan.

2. Mencari Kuat Arus Optimum.

Larutan dimasukkan ke dalam saluran input dengan konsentrasi yang tetap dan pada waktu kontak optimum, tetapi kuat arus yang digunakan berbeda yaitu masing-masing 0,2 A; 0,4 A; 0,6 A dan 0,8 A. Dari keempat sampel ini dianalisa, sampel yang menghasilkan efisiensi yang paling tinggi merupakan kuat arus yang optimum dan digunakan pada proses selanjutnya. Hal ini dilakukan pada setiap jenis plat.

3. Mencari Konsentrasi Optimum.

Larutan yang dimasukkan dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 1 mg/l, 2 mg/l dan 5 mg/l, tetapi waktu kontak dan kuat arus yang digunakan yang pada kondisi optimum. Hasil ketiga sampel dianalisa dan dihitung efisiensi penurunan kadar kadmium, sampel yang menghasilkan efisiensi yang paling tinggi merupakan konsentrasi optimum.

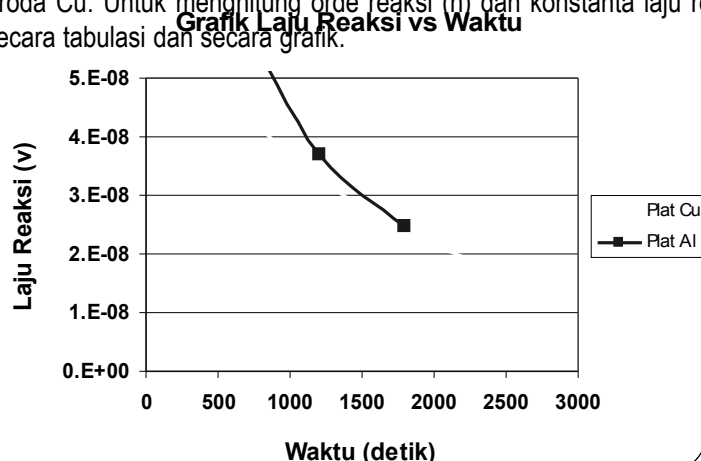
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinetika reaksi yang terjadi di mana untuk mengetahui model matematika terurainya Cd melalui laju reaksi, orde reaksi, konstanta laju reaksi (k) dan mencari hubungan antara waktu kontak, konsentrasi awal dan kuat arus terhadap kecepatan reaksi.

Laju Reaksi, Orde Reaksi (n) dan Konstanta Laju Reaksi (k)

Hubungan laju reaksi terhadap lamanya waktu kontak dapat dilihat dari gambar 1. Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa laju penguraian Cd akan berkurang seiring dengan lamanya waktu kontak. Bila dikaji lebih lanjut laju reaksi yang paling baik adalah laju reaksi yang menggunakan Al sebagai plat elektroda karena laju reaksinya turun secara drastis sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar Cd lebih cepat dibandingkan bila

menggunakan plat elektroda Cu. Untuk menghitung orde reaksi (n) dan konstanta laju reaksi (k) dapat ditempuh dengan dua cara yaitu secara tabulasi dan secara grafik.



Gambar 1. Hubungan laju reaksi terhadap waktu pada limbah simulasi

Secara Tabulasi

Untuk mencari orde reaksi dan konstanta laju reaksi secara tabulasi maka dibuat sebuah tabel yang menghitung besarnya konstanta laju reaksi (k) untuk setiap orde reaksi, kemudian dari hasil ini dihitung *error* atau kesalahan dari nilai konstanta laju reaksi rata-rata. *Error* yang paling kecil merupakan konstanta laju reaksi yang dicari dan diperoleh juga orde reaksi.

Tabel 1. Tabel laju reaksi (v) dan konstanta laju reaksi (k) secara tabulasi untuk plat elektroda Cu pada limbah simulasi

t detik	Konsentrasi Cd				k				Error (%)			
	I mg/l	II mg/l	Rata ² mol/l	V (M/s)	orde reaksi				n = 0	n = 1	n = 2	n = 3
					n = 0	n = 1	n = 2	n = 3				
0	5.230	5.230	$4.6 \cdot 10^{-5}$	0								
500	2.158	2.152	$1.9 \cdot 10^{-5}$	$4.6 \cdot 10^{-8}$	0.0087	0.0015	51.11	1882127.63	92.00	7.77	47.78	83.54
1000	0.823	0.829	$7.3 \cdot 10^{-6}$	$3.3 \cdot 10^{-8}$	0.0044	0.0015	95.49	7523000.41	-4.00	12.16	2.43	34.22
1500	0.387	0.381	$3.4 \cdot 10^{-6}$	$2.4 \cdot 10^{-8}$	0.0029	0.0015	150.68	23671191.2	36.00	5.81	53.96	106.96
Rata-rata					0.0053	0.0015	99.83	1102439.74	48.00	8.58	34.78	74.96

Bila dilihat dari nilai konstanta laju reaksi yang hampir semua sama pada Tabel 1. Semua orde adalah konstanta laju reaksi yang berorde satu, ini juga dapat dilihat dari nilai *error* yang lebih kecil. Sehingga reaksi penguraian kadmium merupakan reaksi yang berorde satu dengan konstanta laju reaksi (k) = $0,0014 \text{ s}^{-1}$.

Model matematika untuk persamaan laju reaksi penguraian kadmium dengan menggunakan plat elektroda Cu secara tabulasi adalah : $v = 0,0014 \cdot [\text{Cd}]$

Tabel 2. Tabel laju reaksi (v) dan konstanta laju reaksi (k) secara tabulasi untuk plat elektroda Al pada limbah simulasi

t detik	Konsentrasi Cd				k				Error (%)			
	I mg/l	II mg/l	Rata ² mol/l	V (M/s)	orde reaksi				n = 0	n = 1	n = 2	n = 3
					n = 0	n = 1	n = 2	n = 3				
0	5.23	5.23	$4.6 \cdot 10^{-5}$									
500	0.992	0.998	$8.8 \cdot 10^{-6}$	$6.3 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-8}$	0.0028	152.46	20498619	51.38	17.80	40.78	81.02
1000	0.235	0.237	$2.1 \cdot 10^{-6}$	$3.7 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	0.0026	378.98	188643636	10.75	9.97	47.21	74.71
1500	0.249	0.245	$2.2 \cdot 10^{-6}$	$2.5 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	0.0017	240.87	114787993	40.63	27.77	6.43	6.31
Rata-rata					$4 \cdot 10^{-8}$	0.0023	257.44	107976749	34.25	18.51	31.48	54.01

Bila dilihat dari nilai konstanta laju reaksi yang hampir semua sama pada Tabel 2. Semua orde adalah konstanta laju reaksi yang berorde satu, ini juga dapat dilihat dari nilai *error* yang lebih kecil. Sehingga reaksi penguraian kadmium merupakan reaksi yang berorde satu dengan konstanta laju reaksi (k) = $0,0023 \text{ s}^{-1}$.

Model matematika untuk persamaan laju reaksi penguraian kadmium dengan menggunakan plat elektroda Al secara tabulasi adalah : $v = 0,0023 \cdot [\text{Cd}]$

Dari kedua persamaan laju reaksi penguraian Cd dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi awal maka semakin besar atau semakin cepat laju reaksinya.

Secara Grafik

Untuk mencari orde reaksi dan konstanta laju reaksi secara grafik maka dibuat sebuah grafik dengan masing-masing orde diplotkan terhadap waktu yaitu :

1. Untuk reaksi orde nol ($n = 0$) dibuat grafik hubungan konsentrasi terhadap waktu dimana laju reaksi konstan atau dengan kata lain laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi dan waktu. Persamaannya adalah :

$$v = k, \text{ Persamaan di atas bila diintegralkan maka diperoleh : } C_t - C_0 = -k.t$$

Diplotkan $C_t - C_0$ versus waktu maka diperoleh garis lurus dengan k sebagai slope.

2. Untuk reaksi orde satu ($n = 1$) dengan persamaan laju reaksi adalah : $v = -k.C$

Bila persamaan di atas diintegralkan diperoleh :

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = k.t$$

Diplotkan $\ln \frac{C_t}{C_0}$ terhadap waktu, diperoleh garis lurus dengan k sebagai slope.

3. Untuk reaksi orde dua ($n = 2$) dengan persamaan laju reaksi : $v = -kC^2$

Bila persamaan di atas diintegralkan diperoleh :

$$\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_t} = k.t$$

Diplotkan $\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_t}$ terhadap waktu, diperoleh garis lurus dengan k sebagai slope.

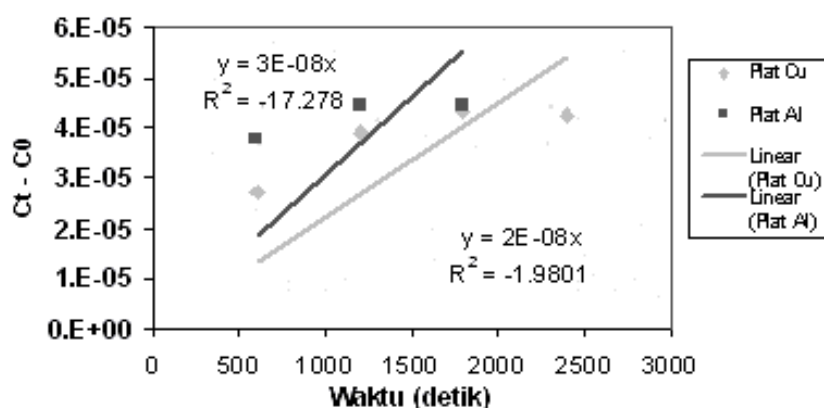
4. Untuk reaksi orde tiga ($n = 3$) dengan persamaan laju reaksi : $v = -kC^3$

Bila persamaan di atas diintegralkan diperoleh :

$$\left(\frac{1}{C_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{C_t} \right)^2 = k.t$$

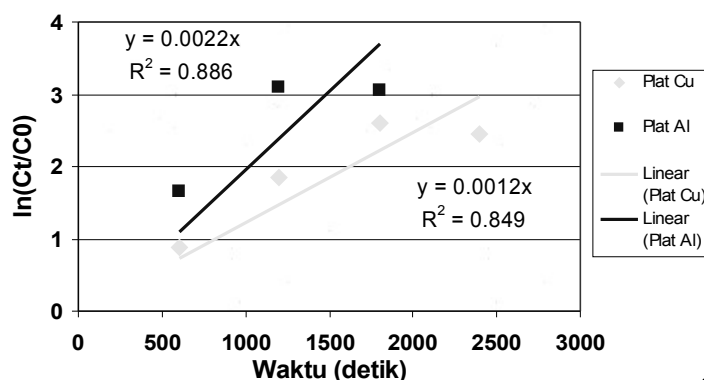
Diplotkan $\left(\frac{1}{C_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{C_t} \right)^2$ terhadap waktu, diperoleh garis lurus dengan k sebagai slope.

Dari semua grafik dipilih yang paling mendekati.

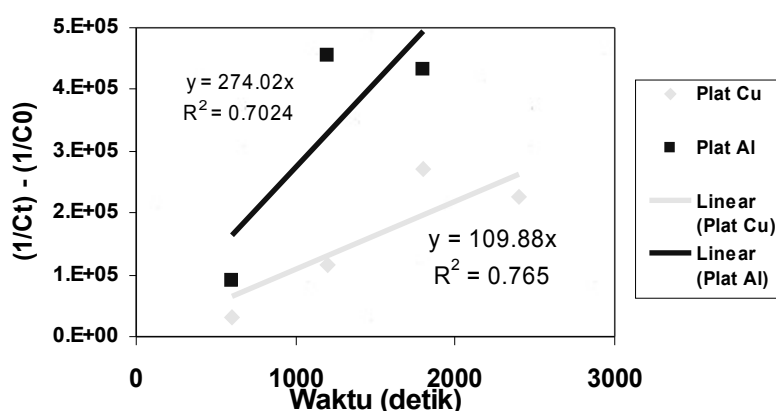


Gambar 2. Aluran reaksi orde nol

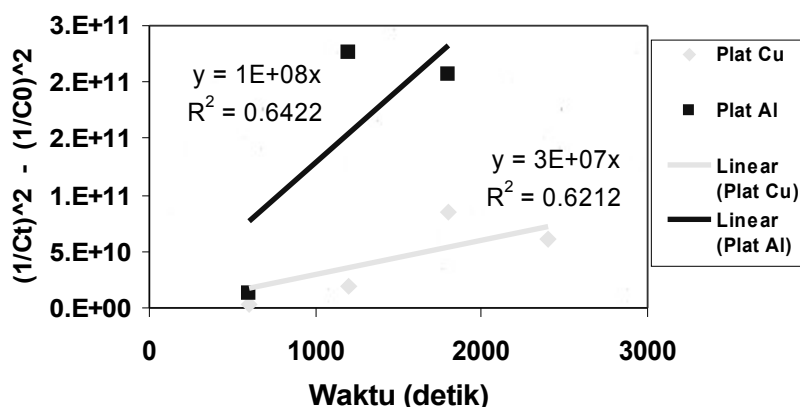
Aliran Reaksi Orde Satu



Gambar 3. Aliran reaksi orde satu



Gambar 4. Aliran reaksi orde dua



Gambar 5. Aliran reaksi orde tiga

Bila dilihat dari keempat gambar di atas yang paling mendekati adalah reaksi orde satu dengan nilai konstanta laju reaksi sebesar $0,014 \text{ s}^{-1}$ untuk plat elektroda Cu dan $0,023 \text{ s}^{-1}$ untuk plat elektroda Al. Sehingga model matematika dari persamaan laju reaksi adalah :

Untuk plat elektroda Cu : $v = 0,0014 \cdot [Cd]$

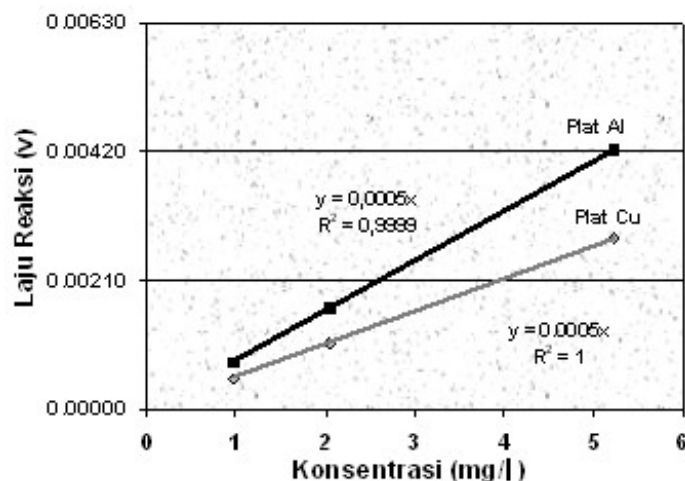
Untuk plat elektroda Al : $v = 0,0023 \cdot [Cd]$

Bila dilihat hasil kedua cara di atas antara perhitungan secara tabulasi dan grafik menghasilkan model matematika persamaan laju reaksi penguraian Cd yang sama.

Dari hasil konstanta laju reaksi yang telah dihitung sudah jelas konstanta laju reaksi penguraian Cd dengan menggunakan elektroda Al lebih besar karena waktu yang dibutuhkan untuk menyisihkan Cd lebih cepat.

Hubungan Laju Reaksi dengan Konsentrasi Awal

Dengan membuat grafik laju reaksi terhadap konsentrasi awal limbah maka diperoleh suatu model matematika yang bisa menjelaskan hubungan tersebut.



Gambar 6. Hubungan laju reaksi terhadap konsentrasi awal pada limbah simulasi

Gambar 6. dibuat dengan memplotkan laju reaksi terhadap konsentrasi awal. Seperti yang telah diperoleh sebelumnya bahwa orde reaksi penguraian kadmium adalah reaksi orde satu. Bila dilihat dari tabel dan grafik bahwa bila konsentrasi awal kadmium dinaikkan sebanyak x kali maka kecepatan reaksi akan meningkat pula sebanyak x kali pula. ini dapat dibuktikan dengan perhitungan :

$$v = k \cdot [Cd]^n$$

karena ini merupakan reaksi orde satu maka $n = 1$ maka persamaan di atas berubah menjadi :

$$v = k \cdot [Cd] \quad (7)$$

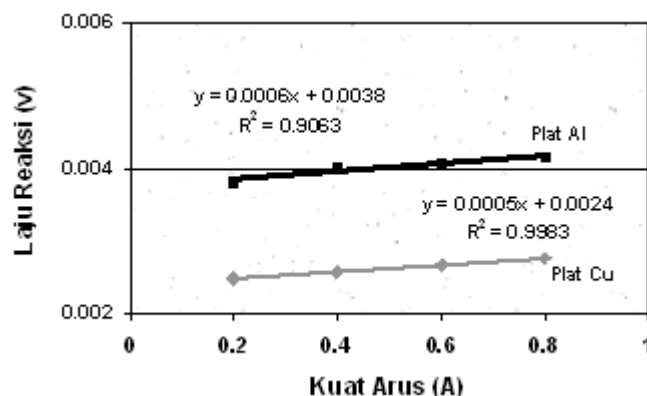
bila konsentrasi dinaikkan x kali maka :

$$x v = k \cdot [x Cd] \quad (8)$$

Kedua persamaan di atas bila dibandingkan maka diperoleh kesimpulan bahwa pada reaksi yang berorde satu berlaku ketentuan kenaikan nilai konsentrasi sebanding dengan kenaikan harga kecepatan atau dengan kata lain yang terjadi pada "reaksi orde satu" apabila kecepatan dinaikkan menjadi "x" kali lipat maka kecepatan reaksi juga akan naik sebanyak "x" kali lipat pula.

Hubungan Laju Reaksi dengan Kuat Arus

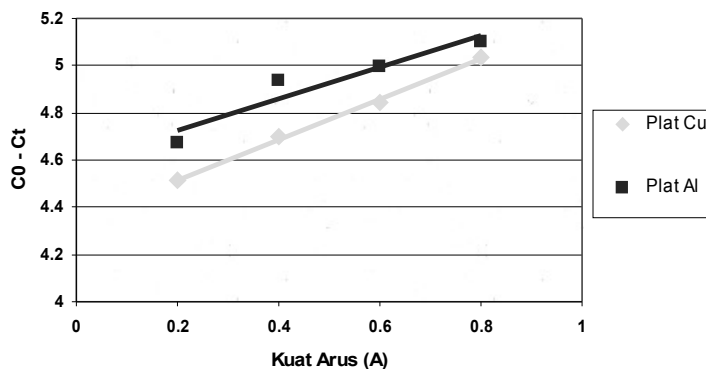
Dengan membuat gambar grafik laju reaksi terhadap kuat arus maka diperoleh suatu model matematika yang bisa menjelaskan hubungan tersebut. Gambar grafik ini dibuat dengan memplotkan laju reaksi terhadap kuat arus seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Hubungan laju reaksi terhadap kuat arus pada limbah simulasi

Pada Gambar 7. dapat dilihat bahwa perubahan besarnya kuat arus tidak terlalu berpengaruh pada kenaikan harga laju reaksi, walaupun ada perubahan tapi kecil sekali $\approx 0,001$. Tetapi perubahan besar kuat arus ini hanya berpengaruh kepada jumlah kadmium yang dapat disisihkan. Perubahan ini dapat dilihat lebih jelas lagi pada Gambar 8.

Jumlah Cadmium yang Disisihkan vs Kuat Arus



Gambar 8. Hubungan jumlah kadmium yang disisihkan terhadap kuat arus pada limbah simulasi

KESIMPULAN

1. Laju reaksi yang paling mendekati adalah reaksi orde satu dengan nilai konstanta laju reaksi sebesar $0,014 \text{ s}^{-1}$ untuk plat elektroda Cu dan $0,023 \text{ s}^{-1}$ untuk plat elektroda Al dan model matematika dari persamaan laju reaksi adalah :
Untuk plat elektroda Cu : $v = 0,0014 \cdot [\text{Cd}]$
Untuk plat elektroda Al : $v = 0,0023 \cdot [\text{Cd}]$
2. Bila dilihat hasil kedua cara di atas antara perhitungan secara tabulasi dan grafik menghasilkan model matematika persamaan laju reaksi penguraian Cd yang sama.
3. Hasil konstanta laju reaksi yang telah dihitung sudah jelas konstanta laju reaksi penguraian Cd dengan menggunakan elektroda Al lebih besar karena waktu yang dibutuhkan untuk menyisihkan Cd lebih cepat.
4. Pada reaksi yang berorde satu berlaku ketentuan kenaikan nilai konsentrasi sebanding dengan kenaikan harga kecepatan. Atau dengan kata lain yang terjadi pada "reaksi orde satu" apabila kecepatan dinaikkan menjadi "x" kali lipat maka kecepatan reaksi juga akan naik sebanyak "x" kali lipat pula.
5. Mekanisme reaksi penyisihan Cd bisa melalui beberapa tahap tergantung dari jenis plat elektroda yang digunakan.
6. Kemampuan reduksi dari 5,23 mg/l menjadi 0,236 mg/l
7. Dapat digunakan reduksi Cd dalam limbah industri cat dan pelapisan logam

DAFTAR PUSTAKA

1. SUTRISNO dan TAN IK GIE, Fisika Dasar I Listrik, Magnet dan Termofisika, Penerbit ITB, Bandung, 36 – 103., (1986)
2. Hodgaman, C. D., Handbook of Chemistry and Physics, The Chemical Rubber Co., Cleveland, (1942)
3. SUKARDJO, "Kimia Fisika", PT Bima Aksara, Jakarta, 323-351, 391-415 (1989)
4. HALLIDAY, D. , Resnick, R., Physics Part II, John Wiley and Sons, Inc, New York, London, Sidney, 814 – 837. (1962)
5. HISKIA ACHMAD., Kinetika Kimia, Penerbit PT. Citra Aditya Bakti, Bandung, 149 – 228. (1991)
6. REYNOLD, TOM. D., Unit Operation and Processes in Environmental Engineering, Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California, 60 – 65. (1982)
7. STRAUSS, HOWARD, J., Handbook for Chemical Technicians, Editor Milton Kaufman, McGraw-Hill Book Co., 4.31 – 4.50. (1976)
8. <http://en.wikipedia.org/aluminium/cadnium/cuprum>